不同放牧管理方式对新疆山地草原植物群落特征的影响

李小锋[1]， 惠婷婷[2,3,4]， 李耀明[2,3,4]， 毛洁菲[2,3,4]， 王光宇[2,3,4]， 范连连[2,3,4]

（1. 新疆巴里坤县草原工作站，新疆 巴里坤 839200；2. 中国科学院新疆生态与地理研究所，新疆 乌鲁木齐 830011；3. 中国科学院中亚生态与环境研究中心，新疆 乌鲁木齐 830011；4. 中国科学院大学，北京 100049）

摘 要：本研究基于巴里坤县国家级山地草原监测站10 a植物群落观测数据，探究了长期不同放牧管理方式（长期禁牧M0、冬季放牧M1和全年放牧M2）对新疆山地草原植物群落特征值、植物多样性及多样性与地上生物量之间关系的影响。结果表明：M0、M1和M2对优势种沙生针茅重要值无显著影响，M1和M2提高了非优势及草地退化的指示物种芨芨草、醉马草的重要值；随着放牧强度的增加，群落高度、盖度、密度、地上生物量及其响应比显著下降；Shannon-Wiener多样性指数、Simpson优势度指数和Pielou均匀度指数在各放牧处理下均无显著差异，但Margalef丰富度指数随放牧强度显著增加；M0处理地上生物量与Simpson优势度指数、Shannon-Wiener多样性指数和Pielou均匀度指数负相关，M1处理地上生物量与Margalef丰富度指数负相关。随着处理时间的增加，长期禁牧有利于退化草地的恢复，提高了群落特征值，在一定程度上有利于草地生产力的提高和群落稳定性的维持；放牧会影响生态系统中资源的再分配，导致物种多样性的增加，但是全年放牧管理方式下草地则退化加剧。

关键词：放牧管理；山地草原；群落特征；可持续发展；物种多样性；新疆

草地是陆地重要的生态系统之一，所占面积约为陆地总面积的五分之二[1]。我国草地生态系统是欧亚大陆温带草地生态系统的重要组成部分，在保护生物多样性、维护生态环境和发展草地畜牧业方面具有重大的作用和价值[2]。新疆天然草原自然资源丰富，为我国五大牧区之一[3]，是新疆生态系统的重要组成部分。不仅是牧区经济发展的物质基础，也是我国西北地区重要的绿色生态屏障[4]。山地草原具有独特的地理条件、物种组成、群落结构和功能，不仅是重要的生态保护屏障，也形成了特有的人文和自然景观。山地草原植被类型包括荒漠草原、高寒草原、山地草甸和高山灌丛[5]，由于土壤贫瘠且降水较为匮乏，荒漠草原呈现出物种组成简单但生活型丰富的群落特征[6]。在人类干扰和气候影响的双重作用下，新疆草原生态系统已受到严重破坏，生产力不断下降[7]。草原退化、生态补偿不足等问题不仅制约了牧区的经济发展，也危及到国家的生态安全[2]。

放牧是家畜在草原上自由采食的一种行为，是我国牧区天然草原利用的主要方式[8]，同时是影响草原植物群落的直接原因[9]。放牧增加了资源分布的空间异质性，提高了物种多样性[10]，并通过消除竞争优势促进了物种公平[11]。适度放牧可以增加草地物种多样性[12]，然而超负荷的放牧将会影响天然草原生态系统的可持续发展[13]。在群落水平，放牧会使草原植被的数量特征发生明显改变，特别是家畜的选择性采食会使得植物的相对优势地位及资源利用能力发生改变[14]。家畜的采食、践踏对草地形态特征、净初级生产力和群落结构产生直接的影响，特定自然条件下的草地，放牧方式的不同会导致植物群落特征有所不同[8]。放牧对生态系统结构和功能的影响一直是生态学研究的核心问题[8]，但关于地处西部内陆干旱-半干旱地区的山地草原的群落结构与功能，如何响应长期不同放牧管理方

收稿日期：2023-07-14； **修订日期：**2023-09-29
基金项目：新疆维吾尔自治区上海合作组织科技伙伴计划项目（2020E01015）；第三次新疆综合科学考察项目（2021xjkk0603）
作者简介：李小锋（1982-），男，高级畜牧师，硕士，研究方向为草业地理信息、草地管理. E-mail: lixiaofeng_cygc@163.com
通讯作者：范连连. E-mail: flianlian@ ms.xjb.ac.cn

式的研究较少,因此,研究山地草原群落结构与功能对长期不同放牧管理方式的响应机制对牧区合理放牧具有重要意义。

自2007年起,新疆陆续在牧业半牧业县实施“退牧还草”、草原生态补偿奖励政策等一系列项目,使天然草原得到休养生息,但是,牧民对政策理解和项目实施效果的滞后性无形中增加了外围天然草地的压力,导致新一轮的草地退化。采取什么样的放牧制度和管理模式从而科学合理的利用草原,已成为当下政府面临的重要问题。因此,本研究以新疆天山北坡山地草原为研究对象,通过分析不同放牧管理方式对山地草原植物群落特征的影响,有助于了解新疆山地草原在长时序演替过程中,群落特征变化特点和功能群对放牧响应的内在机理,为今后草原生态补偿奖励项目的实施提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

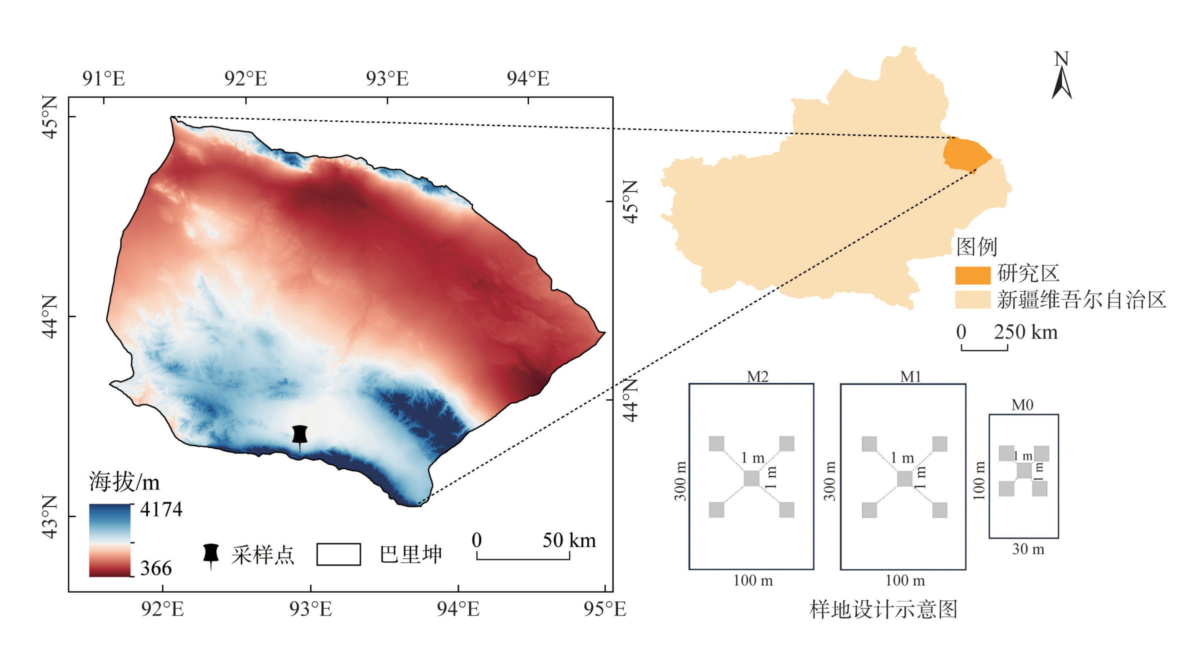
巴里坤哈萨克自治县位于天山东段山前冲积平原,气候属于大陆性高寒气候,冬寒夏凉,暖季短暂,年平均降水量200 mm左右,年平均气温-1~2 ℃。年平均日照时数2500 h,试验地位于山前冲积扇的国家级固定山地草原监测点(图1)。地理位置为92°45′44.4″E,43°34′53.2″N,海拔1680 m,土壤类型主要为栗钙土,植被类型为沙生针茅(*Stipa glareosa*)型温性荒漠草原,物种分布均匀。主要优势种为沙生针茅、银灰旋花(*Convolvulus ammannii*),伴生种有多根葱(*Allium polyrhizum*)、狗娃花(*Heteropappus hispidus*)、芨芨草(*Neotrinia splendens*)、委陵菜(*Potentilla chinensis.*)和醉马草(*Achnatherum inebrians*)等。研究区采样年份气候数据见表1。

1.2 试验设计

2012年依据研究区内植被分布特点,选择植被分布比较均一的区域进行前期植被特征的本底调查(表2)。从东到西依次设置三个放牧条件,分别为2012年围栏封育至今(长期禁牧M0)、按照放牧习惯冬季利用(冬季放牧M1)和一年四季自由放牧(全年放牧M2)。长期禁牧处理所占面积为0.3 hm²,冬季放牧和全年放牧均为3 hm²。冬季放牧指在牧草生长季(5—9月)不放牧,而在非生长季(10月—次年4月)放牧,放牧牲畜为牛、羊、马等。永久禁牧区和冬季放牧区分别进行围栏围封,且长期禁牧区无人为干扰。监测时间从2013年开始连续10 a,每年5月1日—9月15日,每隔15 d测定一次。本研究选取2013年、2017年、2022年每年7月15日监测数据(植物生长旺盛期数据)进行统计分析。

1.3 数据采集

2013年、2017年和2022年,在植物生长旺盛期



注:底图采用新疆维吾尔自治区自然资源厅标准地图制作,审图号为新S(2021)023号,对底图边界无修改。

图1 研究区概况图

Fig. 1 The overview map of the study area

表1 研究区生长季内降水量及平均气温

Tab. 1 Precipitation and average temperature during growing season

气象要素	年份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月
降水量/mm	2013	3.6	3.2	3.4	19.6	14.2	46.5	57.1
	2017	1.1	2.9	8.2	10.8	22.8	40.3	22.2
	2022	9.1	4.6	5.8	23.9	14.0	10.7	24.3
平均气温/℃	2013	−14.0	−12.7	2.5	7.5	12.6	17.2	18.8
	2017	−13.5	−12.6	−1.8	4.5	13.2	18.5	19.4
	2022	−16.9	−14.9	−0.4	7.1	13.4	18.3	20.4

表2 样地植被特征

Tab. 2 Vegetation characteristics of sample plots

序号	植物名称	高度/cm	盖度/%	密度/(per·m^{-2})	产草量干重/(g·m^{-2})
1	沙生针茅(*Stipa glareosa*)	5.66	41.67	56.00	13.01
2	银灰旋花(*Convolvulus ammannii*)	3.31	8.33	10.33	4.28
3	狗娃花(*Heteropappus hispidus*)	10.55	1.33	3.44	1.43
4	多根葱(*Allium polyrhizum*)	11.22	2.83	5.18	1.95
5	芨芨草(*Neotrinia splendens*)	72.73	2.00	0.49	2.39
6	委陵菜(*Potentilla chinensis*)	2.58	2.33	3.53	1.76
7	醉马草(*Achnatherum inebrians*)	77.86	1.50	0.26	1.92
8	其他	2.9	1.14	0.54	0.39

于不同放牧管理方式的样地M0、M1和M2观测区内随机选取3个1 m×1 m的样方，进行地面调查。调查的主要指标有植物物种种类、分种密度、分种高度、分种盖度、分种地上生物量等。其中，植物物种种类和分种密度采用目测法测定；植物物种高度采用直尺测定；地上生物量采用收割法，用剪刀齐地剪割后放入牛皮信封内带回实验室，在烘箱105 ℃杀青半小时后，65 ℃下烘干至恒重，烘干的植物用0.001 g电子天平称重，记录各物种的生物量，然后利用分种生物量计算地上总生物量干重，单位为g·m^{-2}。

2 数据处理

本研究使用双因素方差方法分析不同放牧管理方式、放牧年限及其交互作用对物种重要值(Important Value，*IV*)、群落特征值及其响应比、生物多样性指数的影响，群落特征值包括高度、盖度、密度及地上生物量，生物多样性指数包括Shannon-Wiener物种多样性指数(H')、Pielou均匀度指数(J)、Margalef物种丰富度指数(D')、Simpson优势度指数(D)。当不同处理之间有差异时，采用单因素方差分析和多重比较(Duncan)对不同放牧管理方式和放牧年限处理中物种重要值、群落特征值及其响应比和生物多样性指数进行检验和比较，所有数据以均值±标准误差(SE)表示。当P值小于0.05时，认为均值之间的差异具有显著性。使用一元线性回归对地上生物量和物种多样性之间的关系进行分析。采用Excel 2019进行数据整理，所有数据利用SPSS 26.0进行统计分析，Origin 2017软件进行制图。

2.1 物种重要值计算

$$物种重要值(IV)=(Hr+Dr+Cr)/3 \quad (1)$$

式中：*IV*为重要值；*Hr*为相对高度；*Dr*为相对密度；*Cr*为相对盖度。

2.2 多样性指数的计算

Shannon-Wiener多样性指数

$$H'=-\sum_{i=1}^{s}P_i\cdot\ln P_i \quad (2)$$

Pielou均匀度指数

$$J=H'/\ln S \quad (3)$$

Margalef丰富度指数

$$D'=(S-1)/\ln N \quad (4)$$

Simpson优势度指数

$$D=1-\sum_{i=1}^{s}P_i^2 \quad (5)$$

式中：P_i为样方内第i个物种的重要值；S为样方内

的物种数量；N为样方内的物种数目。

响应比计算

$$RR = \ln(X_F/X_N) \quad (6)$$

式中：RR为响应比值；X_F为不同放牧管理的样方中植物群落特征值；X_N为长期禁牧管理样方中2013年植物群落特征值。

3 结果与分析

3.1 不同放牧管理方式下主要物种重要值的变化

不同放牧管理方式下各物种重要值变化情况见表3，其中优势物种主要为沙生针茅，退化指示物种主要包括狗娃花、芨芨草和醉马草，不同处理间重要值存在显著性差异($P<0.05$)。随着处理时间的增加，优势种沙生针茅重要值在不同放牧管理方式下均无显著性变化。长期禁牧(M0)处理下银灰旋花重要值显著增加，而狗娃花、多根葱和芨芨草重要值显著下降($P<0.05$)。冬季放牧(M1)处理下银灰旋花重要值显著增加，狗娃花重要值显著下降($P<0.05$)。全年放牧(M2)处理下仅多根葱重要值显著下降($P<0.05$)。2013年不同处理间醉马草重要值存在显著性差异，2017年不同处理间银灰旋花、多根葱和醉马草重要值存在显著性差异，2022年不同处理间狗娃花和芨芨草重要值存在显著性差异。2013年和2017年M2处理醉马草重要值显著高于M0和M1($P<0.05$)，其余各处理间均无显著性差异。

3.2 不同放牧管理方式下群落特征值的变化

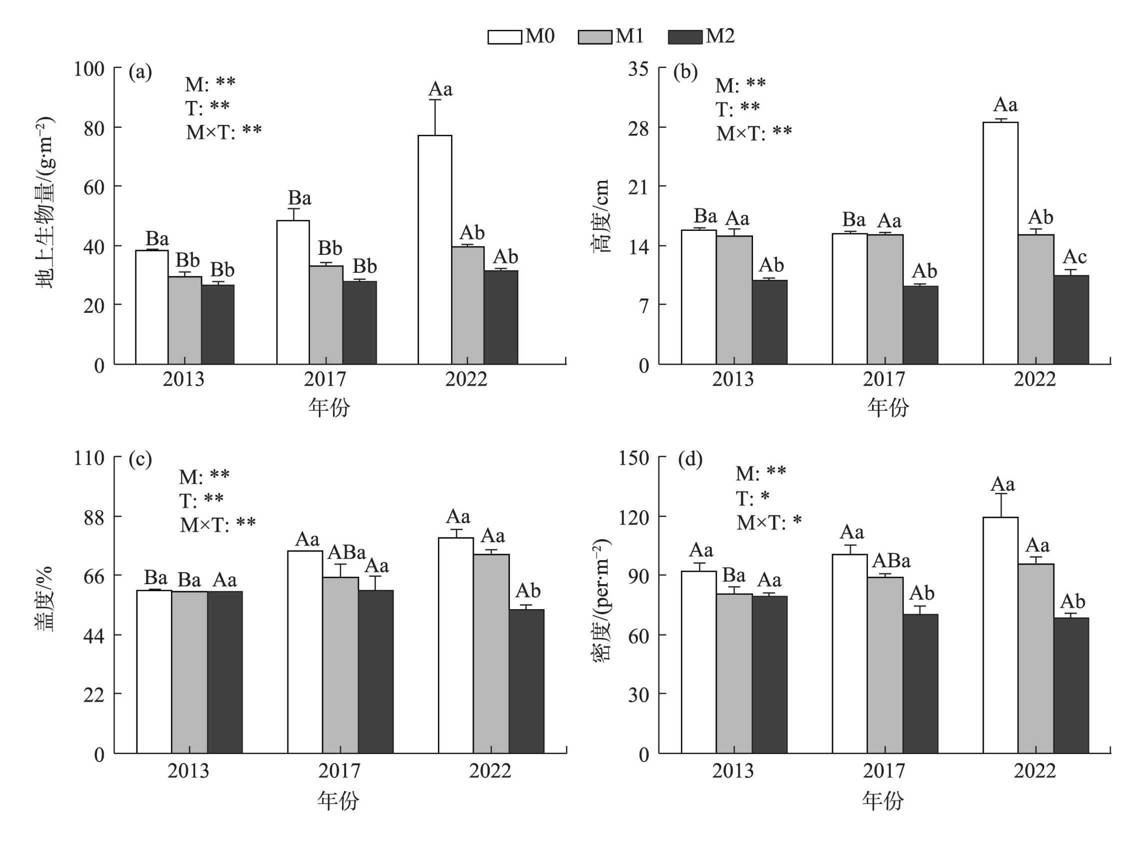
双因素方差分析结果表明不同放牧管理方式、放牧时间及二者的交互作用均对群落特征值有显著影响。不同处理时间M0群落地上生物量均显著高于M1和M2，随着处理时间的增加，群落地上生物量呈增加趋势，2022年各处理群落地上生物量显著高于2013年和2017年($P<0.05$)(图2a)。不同处理时间M0和M1的群落高度均显著高于M2，随着处理时间的增加，2022年M0处理群落高度显著高于M1，2022年M0处理群落高度显著高于相同处理下

表3　不同放牧管理方式下主要物种重要值变化

Tab. 3　Changes of plant important values under different grazing management

种名	年份	M0	M1	M2
沙生针茅(*Stipa glareosa*)	2013	0.512±0.011Aa	0.493±0.021Aa	0.477±0.007Aa
	2017	0.494±0.006Aa	0.504±0.014Aa	0.494±0.008Aa
	2022	0.596±0.054Aa	0.490±0.006Aa	0.491±0.015Aa
银灰旋花(*Convolvulus ammannii*)	2013	0.08±0.002Ab	0.092±0.004ABab	0.099±0.007Aa
	2017	0.103±0.001Aa	0.089±0.010Ba	0.110±0.007Aa
	2022	0.123±0.030Aa	0.113±0.003Aa	0.078±0.013Aa
狗娃花(*Heteropappus hispidus*)	2013	0.051±0.003Ab	0.063±0.007Aab	0.041±0.003Aa
	2017	0.049±0.004ABb	0.063±0.001Ab	0.040±0.003Aa
	2022	0.035±0.006Ba	0.047±0.002Ba	0.045±0.001Aa
多根葱(*Allium polyrhizum*)	2013	0.075±0.007Aa	0.071±0.006Aa	0.058±0.006ABa
	2017	0.074±0.002Aa	0.063±0.006Aa	0.044±0.005Bb
	2022	0.040±0.009Bb	0.053±0.004Aab	0.066±0.002Aa
芨芨草(*Neotrinia splendens*)	2013	0.127±0.001Ab	0.137±0.003Aa	0.144±0.002Aa
	2017	0.124±0.004Ab	0.133±0.002Aab	0.136±0.002ABa
	2022	0.094±0.036Aa	0.137±0.003Aa	0.136±0.002Ba
委陵菜(*Potentilla chinensis*)	2013	0.031±0.004Aa	0.024±0.004Aa	0.032±0.005Aa
	2017	0.033±0.004Aa	0.023±0.002Aa	0.028±0.002Aa
	2022	0.026±0.002Aa	0.032±0.005Aa	0.025±0.006Aa
醉马草(*Achnatherum inebrians*)	2013	0.124±0.002Ab	0.119±0.006Ab	0.149±0.003Ba
	2017	0.123±0.006Ab	0.124±0.001Ab	0.149±0.004Ba
	2022	0.086±0.035Ab	0.128±0.002Aab	0.160±0.002Aa

注：同行小写字母表示同一物种同一年份不同放牧管理方式间存在显著性差异，同列大写字母表示同一物种同放牧管理方式不同年份间存在显著性差异。



注:M为放牧管理效应;T为时间变化效应;M×T为放牧管理和时间变化的交互效应。*表示$P<0.05$;**表示$P<0.01$;ns表示无显著差异。柱状图上不同小写字母表示同一年份不同放牧管理方式间存在显著性差异,不同大写字母表示同一放牧管理方式不同年份间存在显著性差异。下同。

图2 不同放牧方式下群落数量特征值

Fig. 2 Characteristics of plant communities under different grazing management

2013年和2017年群落高度($P<0.05$)(图2b)。2022年M0和M1处理群落盖度显著高于M2,M0和M1处理下2022年群落盖度显著高于2013年相同处理群落盖度($P<0.05$)(图2c),2017年和2022年M2群落密度均显著低于M0和M1。M1处理2022年群落密度显著高于2013年($P<0.05$)(图2d)。

3.3 不同放牧管理方式下群落特征值响应比

不同放牧管理方式和放牧时间均对群落特征响应比有显著影响,但二者的交互作用仅对群落高度和盖度响应比有显著影响。随着处理时间的增加,各处理下群落地上生物量响应比和高度响应比显著增加($P<0.05$)。2013年M1处理下群落地上生物量和高度响应比显著高于M0和M2($P<0.05$)。2022年M0处理群落地上生物量响应比显著高于M1和M2($P<0.05$)(图3a~图3b)。M0和M1处理群落盖度和密度响应比呈递增趋势,M2处理群落盖度和密度响应比呈先增加后下降趋势。2017年和2022年M0处理群落盖度响应比显著高于M2($P<0.05$),2017年M1处理群落密度响应比显著高于M1($P<0.05$)(图3c~图3d)。

3.4 不同放牧管理方式对群落多样性指数的影响

不同放牧管理方式对群落Magralef丰富度指数有显著影响,放牧时间对其无显著影响,但二者的交互作用Magralef丰富度指数有显著影响。随着处理时间的增加,2017年和2022年M2处理下Margalef丰富度指数显著高于M0和M1处理,同时,2022年M1处理下Margalef丰富度指数显著低于2013年(图4a)。其余各处理间均无显著性差异(图4b~图4d),不同放牧管理方式、放牧时间及二者的交互作用对群落Shannon-Wiener多样性指数、Simpson优势度指数及Pielou均匀度指数均无显著影响。

3.5 不同放牧管理方式下群落地上生物量与多样性指数相关性的变化

M0处理下,群落Simpson优势度指数、Shannon-Wiener多样性指数和Pielou均匀度指数与群落地上生物量呈显著负相关关系($P<0.05$),R^2分别为0.75、0.76、0.76(图5b~图5d)。M1处理下群落Margalef丰富度指数与群落地上生物量呈显著负相关

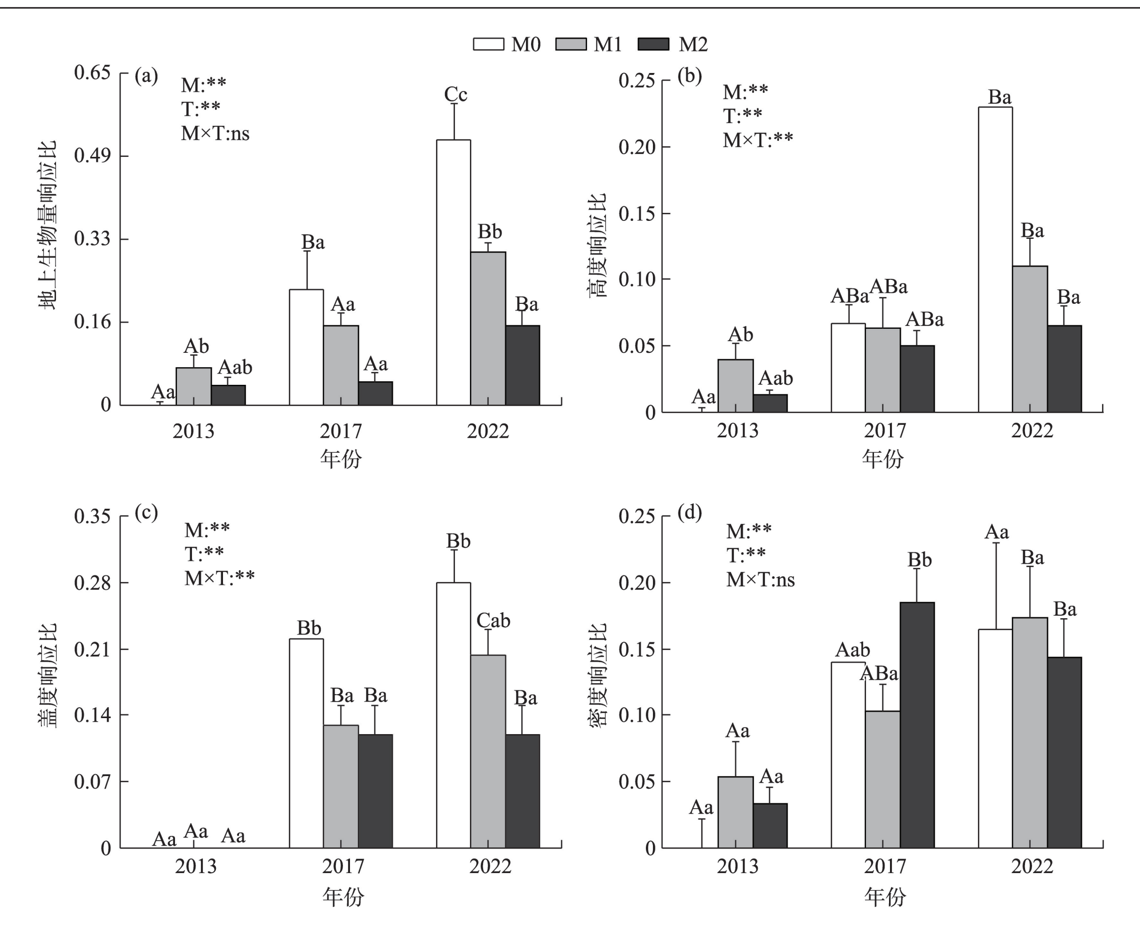


图3　不同放牧管理方式下群落特征值响应比

Fig. 3　Response ratio of community quantitative characteristics under different grazing management

关系（$P<0.05$），R^2为0.58（图5a）。M2处理下群落地上生物量与多样性指数均无显著相关关系（图5a~图5d）。

4　讨论

4.1　不同放牧管理方式对群落特征的影响

群落特征是生态恢复和重建的基础，更是植被对生态系统适应的综合体现[15]。本研究中响应比表示该处理与最初人为干扰下草地群落特征的接近程度。随着处理时间的增加，长期禁牧管理下群落地上生物量和高度及其响应比显著大于冬季放牧和全年放牧，这与姚喜喜等[16]的研究一致。出现该现象可能有以下原因：一方面，长期禁牧有效减缓了放牧对草地的压力，同时为优良牧草沙生针茅提供了休养生息的机会[17]。另一方面，在冬季放牧和全年放牧处理下，牲畜对具有较好适口性的优势物种沙生针茅的采食增加[18]，用于光合作用的叶面积减少，影响植物群落有机物的积累[16]，致其生长缓慢。再者，植物趋向地面生长以免被采食，导致地上生物量和高度下降[19]。全年放牧的管理方式下植物生长受到抑制，植株矮小化，因此，要选择合适的管理方式，以实现草地的可持续利用。2017年全年放牧处理下群落密度响应比显著高于冬季放牧，这是由于在此种放牧管理方式下，牲畜对植物的采食和践踏会使植物群落生态系统特征及物种组成发生改变[20]，适口性较好的高大植物沙生针茅被采食，增加了群落中矮小稀疏植物如狗娃花等的竞争优势，上层物种对群落下层物种的抑制作用减弱[16]，增加了更多物种的资源利用空间，从而改变了群落特征[21]。草地群落特征除受放牧的影响外，气候的变化也会对其产生影响，尤其是温度和水分是限制植被生长的重要环境驱动因素[22]。有研究表明，春季增温有利于植物返青并促进后续的生长，同时，当热量条件合适时，降水增加亦会促进牧草生长[23]。本文研究结果发现，2022年M0样地的群落特征要显著高于2013年和2017年，结合研究区的降雨和气温数据发现（表1），2022年与2017年植物生长季内降雨量相当，但是2022年植物返青期（4月）水热条件较好，有利于植物的返青和后续的

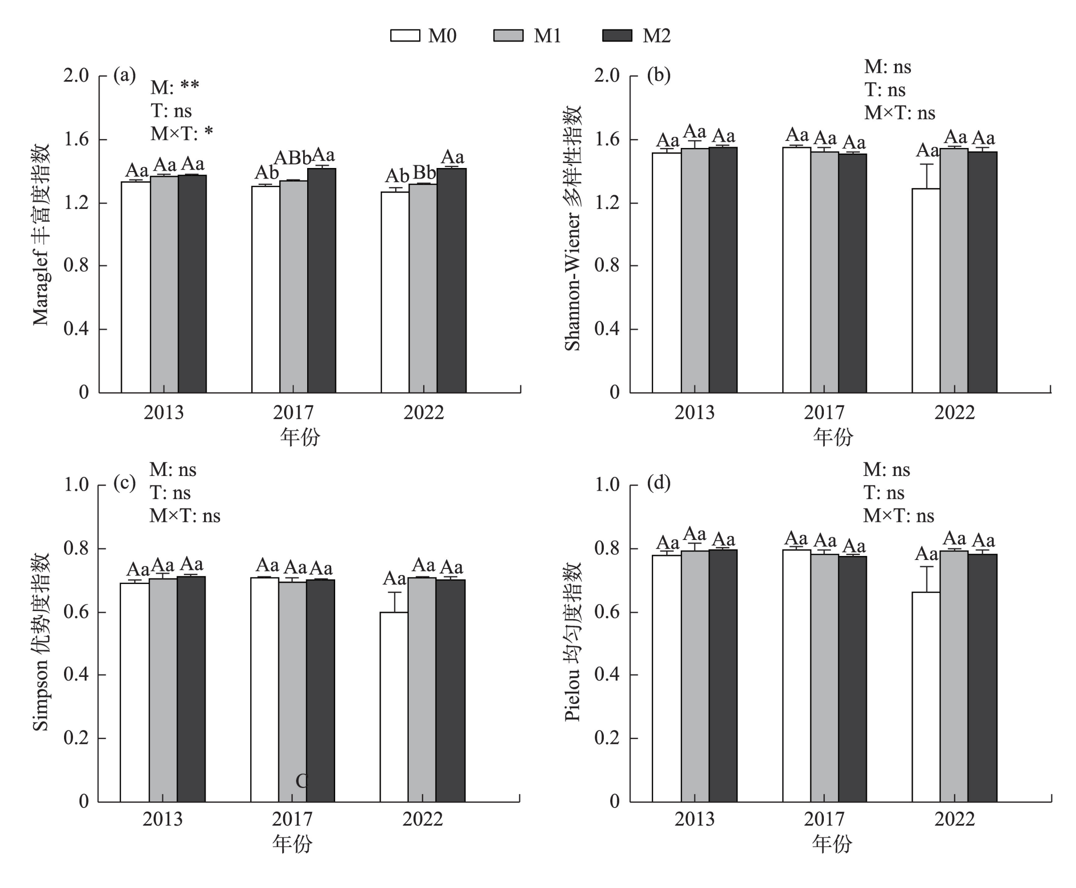


图4 不同放牧管理方式下群落植物多样性差异

Fig. 4 Difference of community species diversity under different grazing management

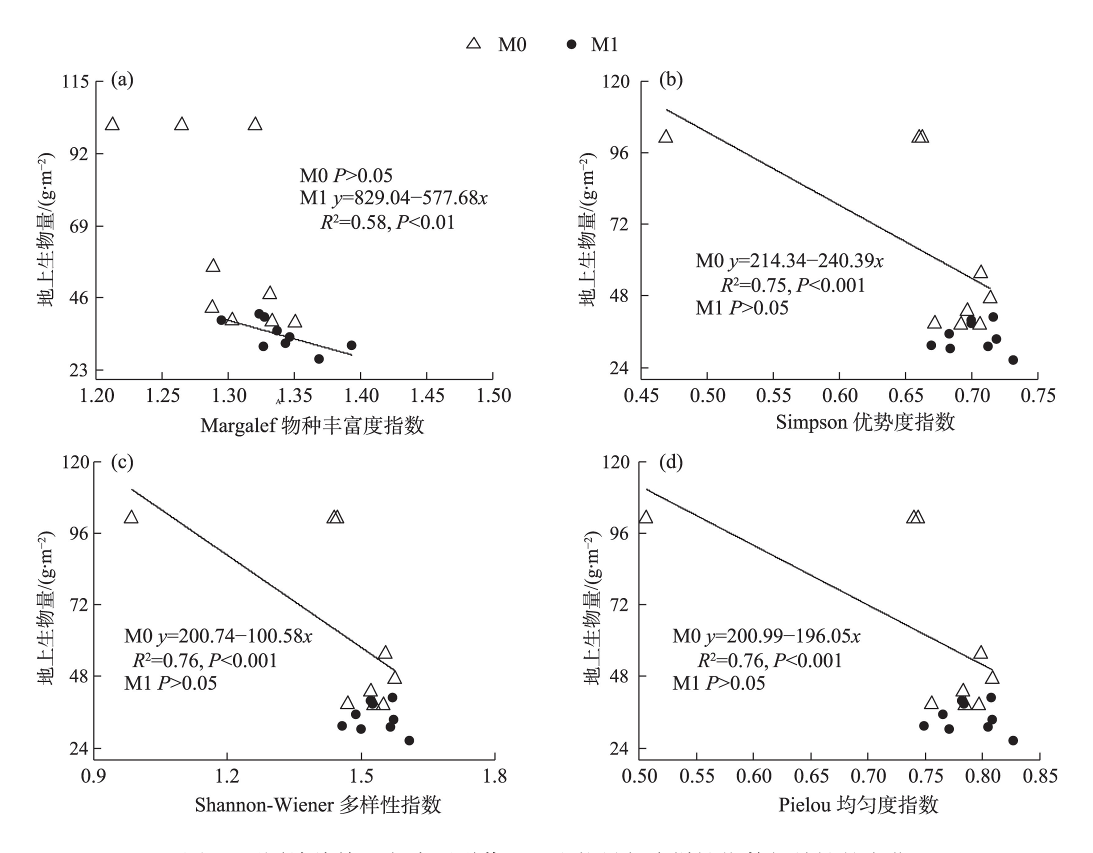


图5 不同放牧管理方式下群落地上生物量与多样性指数相关性的变化

Fig. 5 Changes in the correlation between aboveground biomass and diversity index under different grazing management

生长，这可能是2022年植物生长优于2017年的主要气候因素。而2013年生长季内降雨虽然接近150 mm，其群落特征值并未高于2022年，主要可能是因为样地刚围封至第二年，围封时间较短，群落特征值未能快速响应，从而使其群落高度、盖度、密度以及地上生物量较低。

4.2 不同放牧管理方式对群落物种重要值和多样性指数的影响

重要值可以显示群落中物种不同的地位及作用，物种在群落中发挥作用的大小与重要值大小正相关，该指标值越大，物种地位越高，作用越大[2]。随着处理时间的增加，长期不同放牧管理方式下沙生针茅的地位虽然有所波动，但仍然为优势物种，且优势地位更加稳固。说明在山地草原群落中，优势物种多年生草本植物沙生针茅具有较强的适应能力，在不同放牧管理方式下均能保持较强的竞争力[24]，反映了温性荒漠草原的独有特征。随着不同放牧管理方式对应的放牧强度的降低，沙生针茅的重要值也随之增加，说明长期禁牧处理下沙生针茅的优势地位更加稳固，证明此处理对退化草地恢复起到了一定的作用[25]。随着不同放牧管理方式所对应的放牧强度的增加，优势物种沙生针茅的重要值逐渐降低，退化指示物种狗娃花、芨芨草和醉马草的优势度显著增加，说明在全年放牧管理方式下，草地群落退化程度增加，不利于山地草原可持续发展利用。陈哲涵等[26]研究发现，增温可能改变群落内的种间竞争关系或者影响某些物种功能性状，从而导致群落物种重要值发生改变。车力木格等[27]研究表明降水量减少会影响群落内物种重要值，导致群落物种结构趋向单一化。说明气候和降水对群落物种重要值的改变也十分重要。

植物多样性是衡量群落物种丰富度、均匀度、优势度及物种多样性的指标，可以反映物种间竞争对群落的影响程度[28]。本研究结果中，处理进行5 a后，全年放牧管理的Margalef丰富度指数显著高于长期禁牧和冬季放牧的管理方式。这可能是因为长期禁牧和冬季放牧管理样地中缺乏相应程度的干扰，群落中植物种内的竞争加剧，一些竞争力弱的物种因此被排除系统外甚至消失[29]。本研究发现群落Shannon-Wiener多样性指数、Simpson优势度指数及Pielou均匀度指数在不同处理间均无显著性差异，与中度干扰理论[30]不符合，与宋洁等[31]认为温带典型草原植物物种多样性不受放牧强度影响的研究一致。说明长期禁牧并不能使群落植物多样性与全年放牧形成显著差异[24]，这可能与该类植物群落稳定性较好有关[32]。放牧对草地植被的干扰过程较为复杂，不易量化，且目前关于放牧指标的规定还未统一，同时关于新疆地区沙生针茅型温性荒漠草原多样性的研究较少，因此难以将现有研究结果进行准确的横向对比。

4.3 不同放牧管理方式对群落地上生物量与多样性指数相关性的影响

探究植物群落地上生物量与多样性指数的关系对正确理解草地生态系统结构和功能具有重要作用[33]。有研究表明，由于能量、资源和环境的不同[24]，物种多样性与地上生物量的关系呈现出线性正相关、线性负相关、U形、单峰型和不相关等多种表现形式[24]。在本研究中，长期禁牧处理下群落地上生物量与Simpson优势度指数、Shannon-Wiener多样性指数及Pielou均匀度指数存在显著负相关关系。冬季放牧处理下仅物种丰富度指数与地上生物量存在显著的线性负相关关系，这与一般认为物种多样性与地上生物量正相关的想法相矛盾。与陈丽等[34]的研究结果一致，王娟等[35]关于长期围封处理下高寒草原地上生物量与物种多样性之间关系的研究也证明该处理方式下草原地上生物量与物种多样性存在显著负相关关系。出现上述研究结果可能与沙生针茅型温性荒漠草原群落结构有关，该模式可能是此类型草原群落物种多样性与地上生物量响应不同放牧管理方式的基本形式[36]。也可能是因为围封与放牧季节的影响，围封后植被立枯和凋落物的长期积累会通过限制其有效光辐射强度而对群落下层的物种形成强烈的负效应，最终导致物种多样性下降[37]。因此，在利用长期禁牧的管理方式进行群落植被恢复时，也应考虑围封季节的影响。

5 结 论

（1）不同放牧管理方式对沙生针茅的重要值无显著影响，其优势地位没有改变；禁牧处理下退化指示物种芨芨草重要值下降，全年放牧处理下退化指示物种芨芨草和毒害草醉马草重要值增加，不利于山地草原可持续发展利用。

（2）与冬季放牧和全年放牧相比，禁牧处理显著提高了巴里坤县山地草原群落特征值，禁牧在一定程度上有利于草地生产力的提高和群落稳定性的维持。

（3）不同放牧管理方式下Shannon-Wiener多样性指数、Simpson优势度指数及Pielou均匀度指数均无显著差异，全年放牧显著增加了群落Margalef丰富度指数，释放了部分生态位，影响了生态系统中资源的分配。

（4）禁牧处理下群落地上生物量与植物多样性指数（Simpson优势度指数、Shannon-Wiener多样性指数及Pielou均匀度指数）呈现显著负相关关系，冬季放牧处理下群落地上生物量与植物多样性指数（Margalef丰富度指数）呈现显著负相关关系，说明禁牧和冬季放牧管理方式下，有利于竞争力较大的少数物种的生长。

参考文献（References）：

[1] 王姝文, 李文怀, 李艳龙, 等. 放牧家畜类型对内蒙古典型草原植物多样性和群落结构的影响[J]. 植物生态学报, 2022, 46(8): 941−950. [Wang Shuwen, Li Wenhuai, Li Yanlong, et al. Effects of different livestock types on plant diversity and community structure of a typical steppe in Nei Mongol, China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2022, 46(8): 941−950.]

[2] 张楚, 王淼, 代景忠, 等. 有机肥对草甸草原植物群落及物种多样性的影响[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(3): 26−39. [Zhang Chu, Wang Miao, Dai Jingzhong, et al. Effect of organic fertilizer on plant communities and species diversity in meadow steppe[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2023, 44(3): 26−39.]

[3] 王雪松, 季燕, 贺晶, 等. 放牧和土壤水分对温性草甸草原群落结构及植被碳库的影响[J]. 中国草地学报, 2023, 45(1): 33−42. [Wang Xuesong, Ji Yan, He Jing, et al. Effects of grazing and soil moisture on community structure and vegetation carbon pool in warm meadow steppe[J]. Chinese Journal of grassland, 2023, 45(1): 33−42.]

[4] 张新华, 鲁金萍, 谷树忠, 等. 新疆草原生态补偿政策实施效应评价[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(12): 39−44. [Zhang Xinhua, Lu Jinping, Gu Shuzhong, et al. Assessing the implementation effects of grassland eco-compensation in Xinjiang[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2017, 31(12): 39−44.]

[5] 闫晓玲. 河西地区山地草原生态现状及保护对策[J]. 草业科学, 2013, 30(6): 853−858. [Yan Xiaoling. Analysis and protection countermeasure an the situation of mountainous grassland ecological system in Hexi corridor[J]. Pratacultural Science, 2013, 30(6): 853−858.]

[6] 刘文亭, 卫智军, 吕世杰, 等. 放牧对短花针茅荒漠草原植物多样性的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(10): 3394−3402. [Liu Wenting, Wei Zhijun, Lv Shijie, et al. The impacts of grazing on plant diversity in *Stipa breviflora* desert grassland[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(10): 3394−3402.]

[7] 张勇娟, 曹娟, 贠旭江, 等. 基于3S技术的新疆巩留县草原产草量及载畜平衡评估研究[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(10): 156−164. [Zhang Yongjuan, Cao Juan, Yun Xujiang, et al. Assessment study on grassland yield and carrying capacity in Gongliu, Xinjiang based on RS, CIS and GPS[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2020, 41(10): 156−164.]

[8] 黄侩侩, 胡刚, 庞庆玲, 等. 放牧对中国亚热带喀斯特山地灌草丛物种组成与群落结构的影响[J]. 植物生态学报, 2022, 46(11): 1350−1363. [Huang Kuaikuai, Hu Gang, Pang Qingling, et al. Effects of grazing on species composition and community structure of shrub tussock in subtropical karst mountains, Southwest China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2022, 46(11): 1350−1363.]

[9] 许婷婷, 董智, 李红丽, 等. 放牧对希拉穆仁草原植物群落及种间联结的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2022, 36(11): 112−118. [Xu Tingting, Dong Zhi, Li Hongli, et al. Effects of grazing on plant community characteristics and interspecific association in Xilamuren grassland[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2022, 36(11): 112−118.]

[10] Hou F J, Yang Z Y. Effects of grazing of livestock on grassland[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(1): 244−264.

[11] Sternberg M, Golodets C, Gutman M, et al. Testing the limits of resistance: A 19-year study of Mediterranean grassland response to grazing regimes[J]. Global Change Biology, 2015, 21(5): 1939−1950.

[12] Duan M J, Gao Q Z, Wan Y F, et al. Effect of grazing on community characteristics and species diversity of *Stipa purpurea* alpine grassland in northern Tibet[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(14): 3892−3900.

[13] Zhan Z H, Zhou H K, Zhao X Q, et al. Relationship between biodiversity and ecosystem functioning in alpine meadows of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Biodiversity Science, 2018, 26(2): 111−129.

[14] 潘嘉琛, 董智, 李红丽, 等. 短花针茅荒漠草原土壤颗粒多重分形及理化性质对放牧强度的响应[J]. 干旱区资源与环境, 2021, 35(8): 93−99. [Pan Jiachen, Dong Zhi, Li Hongli, et al. Multi-fractal characteristics of soil particles and soil physicochemical properties in responses to grazing intensity in desert steppe[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2021, 35(8): 93−99.]

[15] 张宇, 阿斯娅·曼力克, 辛晓平, 等. 禁牧与放牧对新疆温性草原群落结构、生物量及牧草品质的影响[J]. 草地学报, 2020, 28(3): 815−821. [Zhang Yu, Asiya Manlike, Xin Xiaoping, et al. Effects of fencing and grazing an the community structure, biomass and forage quality of temperate steppe in Xinjiang[J]. Acta Agrestia Sinica, 2020, 28(3): 815−821.]

[16] 姚喜喜, 王立亚, 严振英, 等. 放牧对温性荒漠草原植物群落特征与牧草营养品质的影响[J]. 草地学报, 2021, 29(S1): 165−172. [Yao Xixi, Wang Liya, Yan Zhenying, et al. Effects of grazing on vegetation characteristics and forage nutriential quality in a temperate desert steppe[J]. Acta Agrestia Sinica, 2021, 29(S1): 165−172.]

[17] 朱牛, 孙建, 石凝, 等. 短期围栏封育对高寒草甸植物群落及土壤理化性质的影响[J]. 草地学报, 2023, 31(3): 834−843. [Zhu Niu, Sun Jian, Shi Ning, et al. Effects of short-term fence enclosing on plant community and the physical and chemical properties of al-

pine meadow soils[J]. Acta Agrestia Sinica, 2023, 31(3): 834−843.]
[18] 杨晨晨, 陈宽, 周延林, 等. 放牧对锡林郭勒草甸草原群落特征及生产力的影响[J]. 中国草地学报, 2021, 43(5): 58−66. [Yang Chenchen, Chen Kuan, Zhou Yanlin, et al. Effects of grazing on community characteristics and productivity of Xilingol meadow steppe[J]. Chinese Journal of Grassland, 2021, 43(5): 58−66.]
[19] 赵利萌, 张卫青, 徐新影, 等. 克氏针茅草原植物群落特征与物种生态位对放牧强度的响应[J]. 中国草地学报, 2023, 45(4): 11−21. [Zhao Limeng, Zhang Weiqing, Xu Xinying, et al. Response of plant community characteristics and population niche to grazing intensity in *Stipa krylovii* grassland[J]. Chinese Journal of Grassland, 2023, 45(4): 11−21.]
[20] 闫瑞瑞, 辛晓平, 张保辉, 等. 肉牛放牧梯度对呼伦贝尔草甸草原植物群落特征的影响[J]. 中国草地学报, 2010, 32(3): 62−67. [Yan Ruirui, Xin Xiaoping, Zhang Baohui, et al. Influence of cattle grazing gradient on plant community characteristics in Hulunber meadow steppe[J]. Chinese Journal of Grassland, 2010, 32(3): 62−67.]
[21] 张宇, 侯路路, 闫瑞瑞, 等. 放牧强度对草甸草原植物群落特征及营养品质的影响[J]. 中国农业科学, 2020, 53(13): 2550−2561. [Zhang Yu, Hou Lulu, Yan Ruirui, et al. Effects of grazing intensity on plant community characteristics and nutrient quality of herbage in a meadow steppe[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(13): 2550−2561.]
[22] Piao S L, Cui M D, Chen A P, et al. Altitude and temperature dependence of change in the spring vegetation green-up date from 1982 to 2006 in the Qinghai-Xizang Plateau[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 151(12): 1599−1608.
[23] 郑奕, 杨莲梅, 刘艳. 新疆天山山区禾本科牧草物候区域差异及其驱动力分析[J]. 生态学报, 2020, 40(4): 1281−1294. [Zheng Yi, Yang Lianmei, Liu Yan. Regional differences of Gramineae herbage phenology and its driving forces in Tianshan Mountains, Xinjiang[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(4): 1281−1294.]
[24] 赵生龙, 左小安, 张铜会, 等. 乌拉特荒漠草原群落物种多样性和生物量关系对放牧强度的响应[J]. 干旱区研究, 2020, 37(1): 168−177. [Zhao Shenglong, Zuo Xiao'an, Zhang Tonghui, et al. Response of relationship between community species diversity and aboveground biomass to grazing intensity in the urat desert steppe in north China[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(1): 168−177.]
[25] 刘秀梅, 李小锋. 围栏封育对新疆山地退化草原植物群落特征的影响[J]. 干旱区研究, 2017, 34(5): 1077−1082. [Liu Xiumei, Li Xiaofeng. Effects of enclosure on plant community characters of degenerated steppe in Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2017, 34 (5): 1077−1082.]
[26] 陈哲涵, 尹进, 叶吉, 等. 增温对东北温带次生林草本群落季节动态的影响[J]. 生物多样性, 2023, 31(5): 15−25. [Chen Zhehan, Yin Jin, Ye Ji, et al. Effects of simulated warming on seasonal dy-Namics of herbaceous diversity in temperate secondary forests in Northeast China[J]. Biodiversity Science, 2023, 31(5): 15−25.]
[27] 车力木格, 刘新平, 何玉惠, 等. 半干旱沙地草本植物群落特征对短期降水变化的响应[J]. 草业学报, 2020, 29(4): 19−28. [Chelmeg, Liu Xinping, He Yuhui, et al. Response of herbaceous plant community characteristics to short time precipitation change in semi-arid sandy land[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2020, 29(4): 19−28.]
[28] 赵威, 李琳, 王艳杰. 河南典型草地碳氮库构成对植物多样性的响应[J]. 生态学杂志, 2019, 38(4): 973−982. [Zhao Wei, Li Lin, Wang Yanjie. The responses of carbon and nitrogen pool composition to plant diversity in typical grasslands of Henan Province[J]. Chinese Journal of Ecology, 2019, 38(4): 973−982.]
[29] 刘娜, 白可喻, 杨云卉, 等. 放牧对内蒙古荒漠草原草地植被及土壤养分的影响[J]. 草业科学, 2018, 35(6): 1323−1331. [Liu Na, Bai Keyu, Yang Yunhui, et al. Effece of grazing on vegetation and soil nutrients of a desert steppe in Iner Mongolia[J]. Pratacultural Science, 2018, 35(6): 1323−1331.]
[30] 安慧, 徐坤. 放牧干扰对荒漠草原土壤性状的影响[J]. 草业学报, 2013, 22(4): 35−42. [An Hui, Xu Kun. The effects of grazing disturbance on soil properties in desert steppe[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2013, 22(4): 35−42.]
[31] 宋洁, 王凤歌, 温璐, 等. 放牧对温带典型草原植物物种多样性及土壤养分的影响[J]. 草地学报, 2019, 27(6): 1694−1701. [Song Jie, Wang Fengge, Wen Lu, et al. Effects of grazing on plant diversity and soil nutrients in typical temperate steppe[J]. Acta Agrestia Sinica, 2019, 27(6): 1694−1701.]
[32] 李佳秀, 张青松, 杜子银. 减畜对草地植被生长和土壤特性的影响研究进展[J]. 草地学报, 2022, 30(9): 2280−2290. [Li Jiaxiu, Zhang Qingsong, Du Ziyin. Research progress on the effects of livestock reduction on grassland vegetation growth and soil characteristics[J]. Acta Agrestia Sinica, 2022, 30(9): 2280−2290.]
[33] 高苏日固嘎, 斯琴朝克图, 乌兰图雅, 等. 克氏针茅草原群落物种多样性与生物量关系对放牧强度的响应[J]. 生态学报, 2022, 42(23): 9736−9746. [Gao Suriguga, Siqinchaoketu, Wulantuya, et al. Relationship between species diversity and biomass of *Stipa krylovii* steppe community and its responses to grazing intensity[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(23): 9736−9746.]
[34] 陈丽, 田新民, 任正炜, 等. 养分添加对天山高寒草地植物多样性和地上生物量的影响[J]. 植物生态学报, 2022, 46(3): 280−289. [Chen Li, Tian Xinmin, Ren Zhengwei, et al. Effects of nutrient addition on plant diversity and above-ground biomass in alpine grasslands of Tianshan Mountains, China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2022, 46(3): 280−289.]
[35] 王娟, 张登山, 肖元明, 等. 物种多样性和功能性状驱动高寒草原地上生物量对长期禁牧的响应[J]. 生态学报, 2023, 43(6): 2465−2475. [Wang Juan, Zhang Dengshan, Xiao Yuanming, et al. Diversity of species and functional traits drive jointly responses of aboveground biomass to long-term grazing exclusion at alpine steppe[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(6): 2465−2475.]
[36] 韩国栋, 焦树英, 毕力格图, 等. 短花针茅草原不同载畜率对植物多样性和草地生产力的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(1): 182−188. [Han Guodong, Jiao Shuying, Biligetu, et al. Effects of plant species diversity and productivity under different stocking rates in the *Stipa breviflora* Griseb desert steppe[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(1): 182−188.]
[37] Borer E T, Seabloom E W, Gruner D S, et al. Herbivores and nutrients control grassland plant diversity via light limitation[J]. Nature, 2014, 508(7497): 517−520.

Effects of different grazing management strategies on plant diversity in the mountain grassland of Xinjiang, China

LI Xiaofeng[1], HUI Tingting[2,3,4], LI Yaoming[2,3,4], MAO Jiefei[2,3,4], WANG Guangyu[2,3,4], FAN Lianlian[2,3,4]

(1. Barkol Steppe Workstation, Barkol 839200, Xinjiang, China; 2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, Xinjiang, China; 3. Research Center for Ecology and Environment of Central Asia, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, Xinjiang, China; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Mountain grassland are an essential component of pasture resources in the Xinjiang Uygur Autonomous Region. However, mountain grassland are highly vulnerable to human-associated disturbance and climate change. The responses of the mountain grassland plant community characteristics and diversity to different grazing managements in Barkol County, Xinjiang, are still unclear. In this study, three different grazing management treatments were set up in 2012 to investigate the response patterns of the plant community characteristics, diversity, and the relationship between the diversity and the aboveground biomass in the mountain grasslands. The three grazing management blocks were M0, M1, and M2, which represented the permanent grazing prohibition, winter grazing, and year-round grazing management, respectively. During the peak growing seasons of 2013, 2017, and 2022, the data regarding the number of species, height, coverage, density, and aboveground plant biomass were collected for further analysis. The results indicated that the different grazing managements had no significant impacts on the importance value of the dominant species, such as *Stipa glareosa*. However, the importance values of the nondominant species such as *Neotrinia splendens* and *Achnatherum inebrians* (Hance) Keng increased under winter and year-round grazing. As grazing intensity increased, plant height, coverage, density, aboveground biomass, and their response ratios declined significantly ($P<0.05$). There were no significant differences in the Shannon-Wiener diversity, Simpson dominance, and Pielou evenness indices in M0, M1, and M2. In contrast, the Margalef richness index elevated markedly ($P<0.05$), indicating that grazing provided more survival resources helpful for other species. In the permanent grazing prohibition block, the aboveground biomass was negatively correlated with the Simpson dominance, Shannon-Wiener diversity, and Pielou evenness indices. In the winter grazing block, aboveground biomass was negatively correlated with the Margalef richness index. Overall, the importance value of the dominant species showed no remarkable differences under varying grazing management, and its dominance remained unchanged. Except for the Margalef richness index, the other diversity indices were not significantly influenced by grazing. Winter and year-round grazing enhanced the vital value of unpalatable species, altering the composition of forage, which was not conducive to future animal husbandry development. In summary, as the enclosure time increased, permanent grazing prohibition was beneficial for restoring degraded grasslands, improving community characteristic values, improving grassland productivity, and maintaining community stability to a certain extent. Grazing would affect resource redistribution in the ecosystem, releasing ecological niches for more species, but year-round grazing led to intensified grassland degradation because of overgrazing pressure.

Keywords: grazing management; mountain grassland; community characteristics; sustainable development; species diversity; Xinjiang